

RS-485通信ネットワークの有害なEMCイベントに対する保護

著者：James Scanlon, Senior Evaluation Engineer, Analog Devices, Inc., Koenraad Rutgers, Senior Field Applications Engineer, Bourns, Inc.

要約

実環境の工業用/計測用 (I&I) アプリケーションでは、RS-485 インターフェース・リンクは過酷な電磁環境下で使用されます。落雷、静電放電などの電磁界現象によって大きな過渡電圧が生じると、通信ポートが損傷するおそれがあります。こうしたデータ・ポートが最終設置環境下で適正に動作するには、電磁両立性 (EMC) 規制に適合する必要があります。

これらの要件には静電放電、電気的高速過渡現象、サージという過渡現象に関する3つの主要な耐性規格が含まれます。

多くの EMC 問題は単純でも明瞭でもないもので、製品設計の最初の時点でその問題を検討しておく必要があります。この作業を設計サイクルの最後まで放置しておく、エンジニアリング予算のオーバーやスケジュール遅れになるおそれがあります。

本稿では、これらの主要な過渡現象についてそれぞれ説明し、RS-485 通信ポートの3種のコスト/保護レベルに対応した3種の EMC 適合ソリューションをご紹介します。

アナログ・デバイセズ社とボーンズ社は、システム志向ソリューション製品の拡張を目指して提携し、IEC61000-4-2 ESD、IEC61000-4-4 EFT、IEC61000-4-5 サージに対する最高4の保護レベルを提供する業界初の EMC 適合 RS-485 インターフェース設計ツールを共同開発しました。これによって、設計者は必要な保護レベルや利用できる予算に応じてさまざまな設計オプションを選択できます。このような設計ツールがあれば、設計サイクルの初期段階で対応できるため、EMC 問題でプロジェクトが遅延するリスクが小さくなります。

RS-485 規格

I&I アプリケーションは、複数のシステム間でデータを送信する必要があり、通信距離がかなり長い場合もまれではありません。電気規格 RS-485 は、産業オートメーション、プロセス制御、モーター制御、モーション制御、リモート端末、ビル・オートメーション（暖房、換気、空調 [HVAC] など）、セキュリティ・システム、再生可能エネルギーなどの I&I アプリケーションで最も広範に採用されている物理層仕様のひとつです。

RS-485 を I&I 通信アプリケーションに最適なものとする主な特長としては、たとえば以下があげられます。

- 長距離リンク—最大 1200 メーター
- 1 対のツイスト・ケーブルで双方向通信が可能
- 差動伝送によるコモンモード・ノイズ耐性の強化とノイズ放出の削減
- 複数のドライバとレシーバを同じバスに接続可能
- 広いコモンモード・レンジ (-7V ~ +12V) により、異なるグラウンド電位のドライバとレシーバにも対応
- TIA/EIA-485-A により、最大数十 Mbps のデータレートが可能

TIA/EIA-485-A は RS-485 インターフェースの物理層を規定し、通常、Profibus、Interbus、Modbus、BACnet のような高レベルのプロトコルと組み合わせて使用されています。このため、比較的長い距離で堅牢なデータ送信が可能です。

しかし、実世界のアプリケーションでは、落雷、電力誘導/直接接触、電源変動、誘導スイッチング、静電放電などによって大きな過渡電圧が生じると、RS-485 トランシーバが損傷します。設計者は、装置が理想的な条件下だけではなく「実世界」でも正常に機能するよう保証する必要があります。電氣的に厳しい環境下でも回路が有効に利用できるように、さまざまな政府機関や規制団体が EMC 規制を実施しています。エンドユーザは、これらの規制に準拠した設計であれば過酷な環境下でも正しく機能すると判断できます。

BOURNS®

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。
©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

アナログ・デバイセズ株式会社

本社 / 〒105-6891 東京都港区海岸 1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル
電話 03 (5402) 8200
大阪営業所 / 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36 新大阪トラストタワー
電話 06 (6350) 6868

電磁両立性

電磁環境には放射エネルギーと誘導エネルギーという 2 つの要素があり、これに応じて EMC には放射と耐性という 2 つの側面があります。EMC は当該アプリケーションの電磁環境において過度の電磁妨害を引き起こすことなく、電子システムがその機能を十分に発揮できることを意味しています。この記事では、3 つの主要な EMC 過渡現象に対する RS-485 ポートの EMC 耐性の保護レベル向上について説明します。

国際電気標準会議 (IEC) はすべての電気、電子および関連技術の国際規格を準備、発表する世界的な組織です。1996 年以降、EU 向けまたは EU 内で販売される電子機器はすべて、IEC61000-4-x 仕様に規定されている EMC レベルに適合しなければなりません。

IEC61000 仕様では、住宅、商業および軽工業環境での使用を目的とした電気/電子機器に適用する EMC 耐性要件を規定しています。この一連の仕様には、データ通信線に関して電子設計者が考慮しなければならない 3 種類の高電圧過渡現象が含まれます。

- IEC 61000-4-2 静電放電 (ESD)
- IEC 61000-4-4 電気的高速過渡現象 (EFT)
- IEC 61000-4-5 サージ耐性

各仕様では、規定の現象に対する電子/電気機器の耐性を評価する試験方法を定めています。以下にそれぞれの試験の概要を示します。

静電放電

ESD は、異なる電位の 2 つの物体が近接したか、または静電界の誘導によって物体間で突然静電荷が移動する現象です。これには短時間で高電流が発生するという特性があります。IEC61000-4-2 試験の主な目的は、システムの動作中に外部で ESD イベントが発生したときの ESD 耐性を判定することです。IEC61000-4-2 では、接触放電とエアギャップ放電という 2 種類の結合方法を用いる試験を定義しています。接触放電は、放電ガンと被試験ユニットが直接接触することを意味します。エア放電の試験では、空气中にアーク放電が発生するまで放電ガンの帯電電極を被試験ユニットのほうに接近させます。放電ガンは、被試験ユニットに直接接触することはありません。エア放電試験の場合、湿度、温度、気圧、距離、被試験ユニットに接近する速度など、さまざまな要素が試験結果や再現性に影響を与えます。この方法のほうが現実の ESD イベントに近いのですが、再現性は劣ります。したがって、試験方法としては接触放電のほうがよく利用されます。

被試験データ・ポートは、最低 10 回ずつ、パルス間の間隔を 1 秒として正電極と負電極の単発放電にさらされます。試験電圧の選

択はシステムの最終環境に依存します。規定されているテストの最高レベルは 4 であり、この場合の接触放電電圧は ± 8 kV、エア放電電圧は ± 15 kV です。

図1は、仕様に規定されている 8 kV 接触放電の電流の波形です。重要な波形パラメータとしては、1 ns 未満の立ち上がり時間、約 60 ns のパルス幅などがあります。これは、総エネルギーが数十 mJ の範囲にあるパルスに相当します。

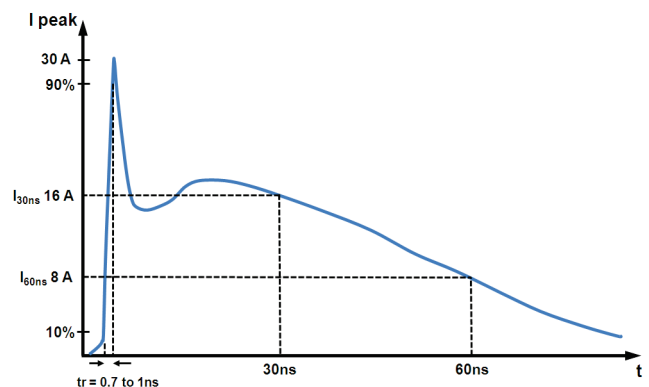


図 1. IEC61000-4-2 ESD 波形 (8 kV)

電気的ファーストトランジエント

電気的ファーストトランジエントの試験では、数多くのファースト・トランジエント・インパルス信号線を結合させ、外部スイッチング回路からの過渡現象が通信ポートに容量結合する現象を構成します。この現象には、リレー/スイッチ接点バウンスや誘導負荷や容量性負荷のスイッチングに起因する過渡現象などがあり、いずれも工業環境でありふれた現象です。IEC61000-4-4 に規定されている EFT 試験では、このような種類のイベントに起因する干渉をシミュレートします。

図 2 は EFT 50 Ω の波形です。EFT 波形は、出力インピーダンス 50 Ω の信号発生器からのもので、50 Ω インピーダンス端の電圧を表しています。出力波形は、300 ms 間隔で繰り返される 2.5 ~ 5 kHz の高電圧過渡現象の 15 ms パーストで構成されています。各パルスは立ち上がり時間が 5 ns、パルス幅が 50 ns であり、波形の立ち上がりエッジの 50%ポイントと立下りエッジの 50%ポイントの間で測定しています。単一 EFT パルスの総エネルギーは、ESD パルスの総エネルギーと同じくらいです。1 パルス当たりの総エネルギーは一般に 4 mJ です。データ・ポートにかかる電圧は最大 2 kV になります。

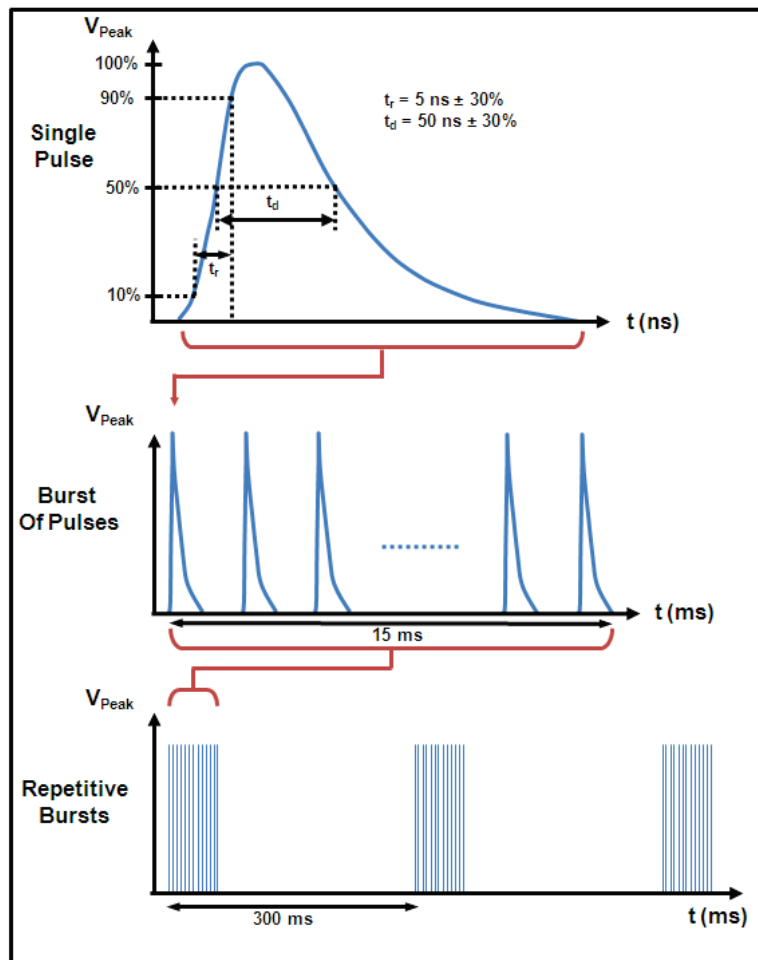


図2. IEC61000-4-4 EFT 50 Ω 負荷の波形

これらの高速バースト過渡現象は、容量性クランプを介して通信線に結合されます。EFTは、直接接触ではなくクランプによって通信線に容量結合します。これによって EFT 発生器の低い出力インピーダンスに起因する負荷が低下します。クランプとケーブル間の結合容量は、ケーブルの長さ、シールド、絶縁によって異なります。

サージ過渡現象

サージ過渡現象は、スイッチング／雷過渡現象による過電圧に起因します。スイッチング過渡現象は電源システムのスイッチング、給電システムの負荷の変化、各種のシステム障害(短絡回路など)によって発生します。雷過渡現象は、近くに落雷があつて回路に高電圧／高電流が注入されると発生します。IEC61000-4-5は、このような破壊的なサージに対する耐性を評価するための波形、試験方法、試験レベルを規定しています。

波形は、開回路電圧と短絡電流という波形発生器の出力として規定されています。ここでは、2つの波形が説明されています。10/700 μs コンビネーション波形は、対称通信回線(電話交換回線など)に接続するためのポートを試験するのに使用します。1.2/50 μs コンビネーション波形(発生器)はほかのすべてのケースで使用され、特に短距離信号接続で使用されます。RS-485ポートの場合は、1.2/50 μs 波形が主に使用されます。ここでは、この波形について解説します。波形発生器は実効出力インピーダンスが 2 Ω であるため、サージ過渡現象では高い電流値が発生します。

図3は、1.2/50 μs のサージ過渡電圧波形です。ESD と EFT は立上り時間、パルス幅、エネルギー・レベルが同じくらいですが、サージ・パルスは立上り時間が 1.25 μs でパルス幅が 50 μs です。また、サージ・パルスのエネルギーは最大でほぼ 90 J に達し、ESD パルスや EFT パルスのエネルギーより 3~4 桁大きな値になります。したがって、サージ過渡現象は、EMC 過渡現象のうち最も過酷なものと考えられています。ESD と EFT には類似性があるため、回路保護の設計も似たようなものになりますが、サージはエネルギーが大きいため別途対応する必要があります。これは、保護機能を開発する場合の大きな問題の1つです。コスト効

率を下げずに3つのすべての過渡現象に対してデータ・ポートの耐性を改善する保護機能を考えなければなりません。サージ過渡電圧は抵抗を介して通信回線に結合します。図4に、半二重 RS-485 デバイスのカップリング・ネットワークを示します。抵抗の並列合計値は 40 Ω です。半二重デバイスの場合、各抵抗値は 80 Ω です。

サージ試験では、それぞれ5つの正と負のパルスを各パルス間の最大時間間隔を1分としてデータ・ポートに注入します。規定に従うと、デバイスは試験中に通常動作状態でセットアップする必要があります。

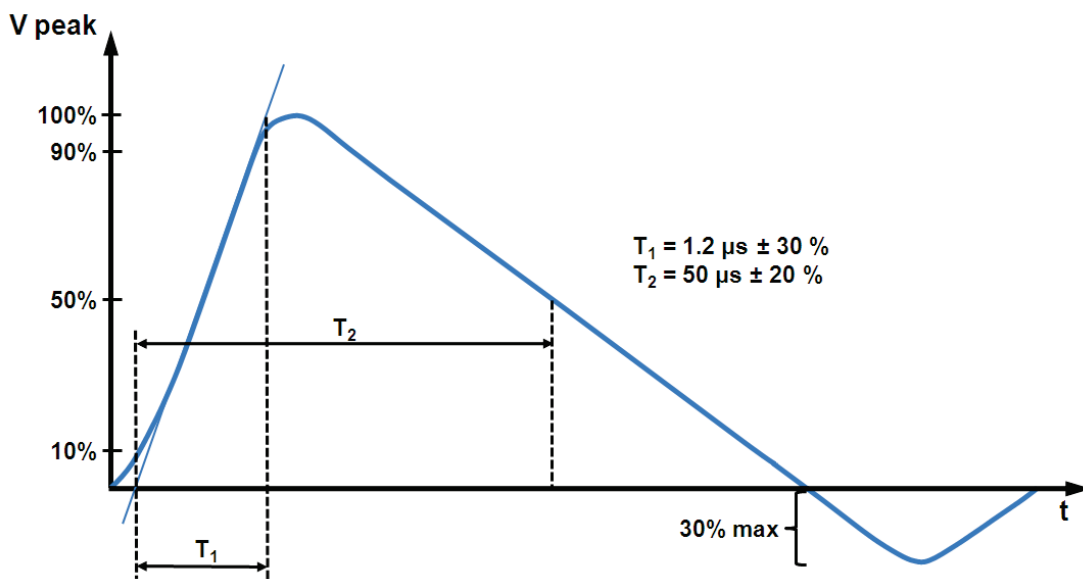


図3. IEC61000-4-5 サージ 1.2/50 μs 波形

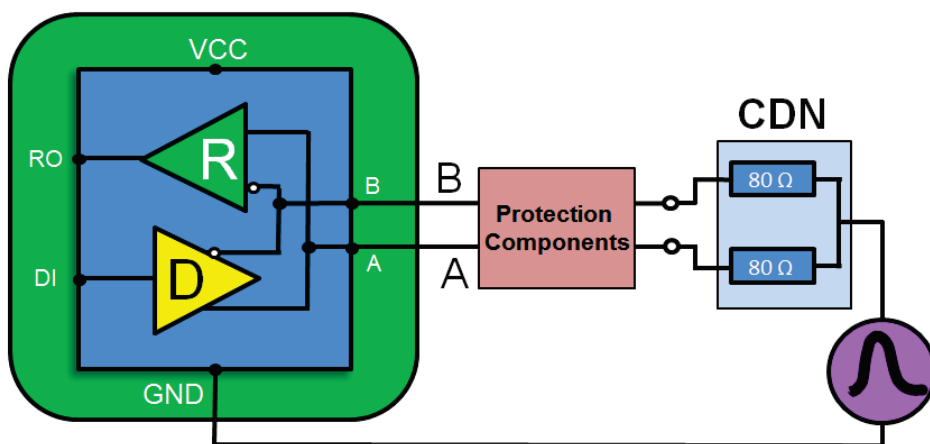


図4. 半二重 RS-485 デバイスのカップリング/デカップリング・ネットワーク

図 6 の回路は、完全に特性評価を行った 3 種類の EMC 適合ソリューションです。各ソリューションは、外部の独立した EMC コンプライアンス試験機関から認証されており、それぞれがアナログ・デバイセズの ADM3485E 3.3 V RS-485 トランシーバに対して、異なるコスト/保護レベルを持つ高度な ESD 保護機能を、Bourns 社の外付け回路保護部品で提供します。使用した Bourns 社の外付け回路保護部品は、過渡電圧サプレッサ (CDSOT23-SM712)、過渡現象遮断ユニット (TBU-CA065-200-WH)、サイリスタ・サージ・

プロテクタ (TISP4240M3BJR-S)、ガス放電管 (2038-15-SM-RPLF) です。

各ソリューションは、保護部品の動的 I/V 性能によって ADM3485E RS-485 バス・ピンの動的 I/V 特性を守り、ADM3485E の入出力段と外部保護部品との連携によって過渡現象イベントに対する保護が行われるように特性評価されています。

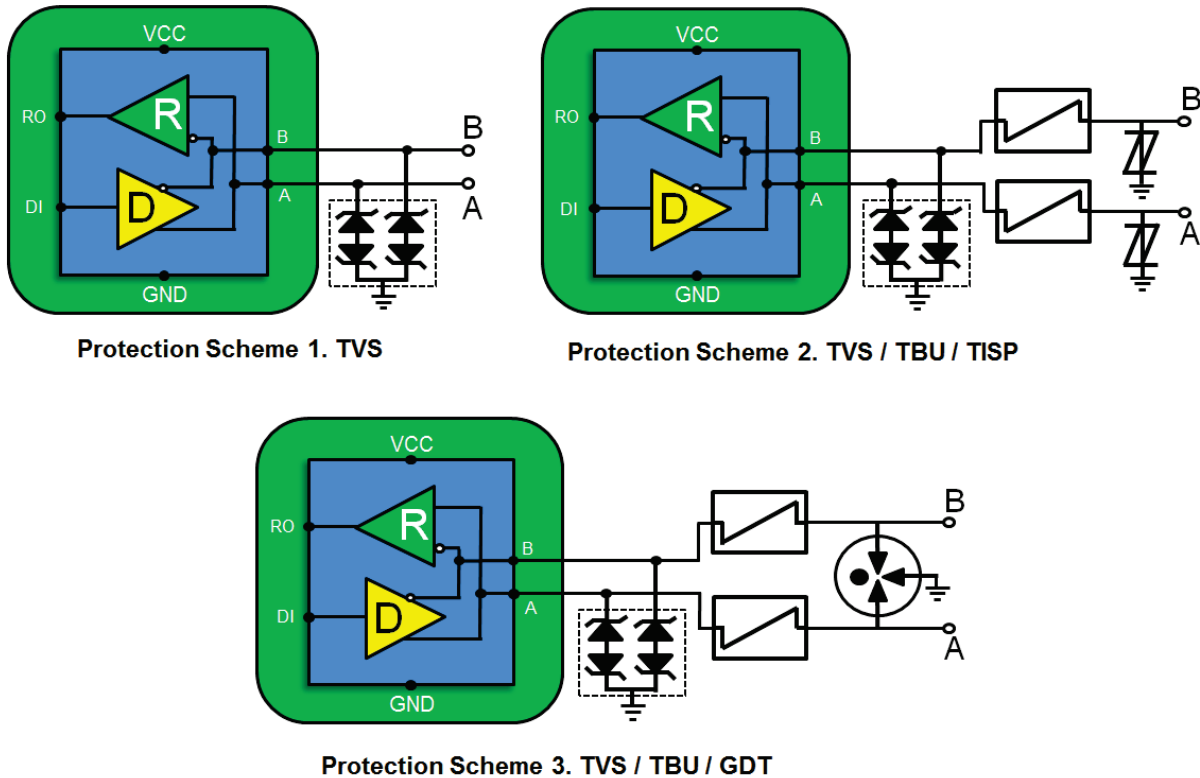


図 6. 3 つの EMC 適合 ADM3485E 回路 (簡略回路図: 図中の接続はすべてではありません)

保護方式 1

前述したように、EFT と ESD の過渡現象はエネルギーのレベルが同じくらいですが、サージ波形のエネルギーは 3~4 桁大きくなります。ESD や EFT に対する保護は同じような方法を使用しますが、高レベルの保護、すなわちサージに対する保護の場合はさらに複雑なソリューションが必要です。ここに示す最初のソリューションは、レベル 4 までの ESD/EFT 保護とレベル 2 のサージ保護を提供します。1.2/50 μ s 波形は、この記事に示すすべてのサージ試験で使用されています。

このソリューションは、2 個の双方向 TVS ダイオードを備えた Bourns CDSOT23-SM712 過渡電圧サプレッサ (TVS) アレイを使用します。TVS ダイオードは最小のオーバーストレスで RS-485 システムを保護し、RS-485 トランシーバ上でフルレンジの RS-485 信号/コモンモード振幅 (-7V~+12V) を利用できるように最適化されています。表 1 に、ESD、EFT、サージ過渡現象の保護電圧レベルを示します。

表 1. ソリューション 1 の保護レベル

ESD (-4-2)		EFT (-4-4)		Surge (-4-5)	
Level	Voltage (contact/air)	Level	Voltage	Level	Voltage
4	8 kV/15 kV	4	2 kV	2	1 kV

TVS はシリコン・ベースのデバイスであり、通常動作条件下ではグラウンドへの高インピーダンス・パスとなり、理想的には開回路です。保護動作では、過渡現象による過電圧を電圧制限値にクランプします。これは、PN 接合の低インピーダンスのアバランシェ・ブレイクダウンによって行われます。TVS のブレイクダウン電圧を上回る過渡電圧が発生すると、TVS は被保護デバイスのブレイクダウン電圧より小さな所定のレベルに過渡電圧をクランプします。過渡電圧は瞬時 (< 1 ns) にクランプされ、過渡電流は被試験デバイスに入らずにグラウンドに流れます。

重要なのは、TVS のブレイクダウン電圧を被保護ピンの通常動作範囲外の電圧値にすることです。CDSOT23-SM712 の独自の特性としては、トランシーバのコモンモード電圧範囲+12V~-7V にマッチングする+13.3V と-7.5V という非対称のブレイクダウン電圧です。これによって最適な保護機能を提供するとともに ADM3485E RS-485 トランシーバの過電圧ストレスを最小限に抑えることができます。

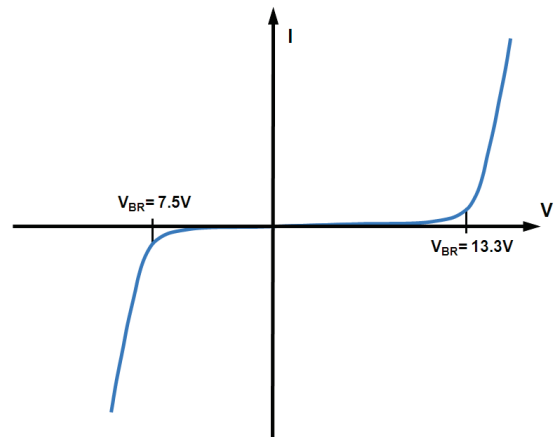


図 7. CDSOT23-SM712 I/V 特性

保護方式 2

前述したソリューションは、最高レベル 4 の ESD/EFT 保護を提供しますが、サージに対してはレベル 2 にとどまります。サージ保護レベルを向上するためには、保護回路はもっと複雑になります。次の保護スキームは、レベル 4 までのサージ保護を提供します。

CDSOT23-SM712 は、RS-485 データ・ポートのために特別に設計されています。次の 2 つの回路は CDSOT23-SM712 をベースにして、より高いレベルの回路保護を実現します。CDSOT23-SM712 が二次保護機能を提供し、TISP4240M3BJR-S が一次保護機能を提供します。一次と二次の保護デバイス間の調整や過電流保護には、TBU-CA065-200-WH を使用します。表 2 に、この保護回路による ESD、EFT、サージに対する保護電圧レベルを示します。

表 2. ソリューション 2 の保護レベル

ESD (-4-2)		EFT (-4-4)		Surge (-4-5)	
Level	Voltage (contact/air)	Level	Voltage	Level	Voltage
4	8 kV/15 kV	4	2 kV	4	4 kV

過渡電圧が保護回路に入ると、TVS はブレイクダウンし、グラウンドへの低インピーダンス・パスとなってデバイスを保護します。大きな電圧と電流が存在する場合は、TVS を通る電流を制限して保護しなければなりません。これには、アクティブ高速過電流保護素子である過渡現象遮断ユニット (TUB) を使用します。このソリューションの TBU は、Bourns 社の TBU-CA065-200-WH です。

TBU は、電流をグラウンドにシャントするのではなく、電流を遮断するデバイスです。直列部品であるため、インターフェース上の電圧ではなくデバイスを通る電流に反応します。TBU は高速過電流保護デバイスであり、電流を特定の設定値に制限する機能や高電圧に耐える機能を備えています。過電流が発生し、過渡現象イベントによって TVS がブレイクダウンすると、TBU 内の電流は事前に設定された電流制限レベルまで上昇します。この時点で、TBU は 1 μ s 未満で瞬時に被保護回路をサージから分離し

ます。残留の過渡現象が存在する間、TBU は保護された遮断状態を維持し、被保護回路には微小な電流 (<1 mA) しか流れません。通常の動作条件下では TBU は低インピーダンスであり、通常回路動作への影響は最小限に抑えられています。TBU が遮断モードになると、インピーダンスが非常に高くなり、過渡現象のエネルギーを遮断します。過渡現象イベントが終わると、TBU は自動的に低インピーダンス状態に戻り、通常システム動作を再開することができます。

あらゆる過電流保護技術がそうであるように、TBU にも最大ブレイクダウン電圧があり、このため一次保護デバイスによって電圧をクランプし、過渡現象エネルギーをグラウンドに流す必要があります。これには、一般に完全統合サージ・プロテクタ (TISP) などのソリッドステート・サイリスタやガス放電管といった技術を使用します。TISP は一次保護デバイスとして機能します。このデバイスは、事前に設定した保護電圧を超えると、グラウンドへの低インピーダンスのパスとなるようなクローバー形状の特性となり、システムやその他の保護デバイスに大部分の過渡現象エネルギーが入らないようにします。

TISP は非直線の電圧・電流特性を備えており、発生した電流を外へ逃して過電圧を制限します。サイリスタ製品の TISP は、高電圧領域と低電圧領域間の切換え動作によって電圧・電流が不連続となる特性を備えています。図 9 に、このデバイスの電圧電流特性を示します。アバランシェ・ブレイクダウン領域によりクランプ動作が発生すると、TISP デバイスは低電圧状態になり、グラウンドへの低インピーダンス・パスとなって過渡現象エネルギーをシャントします。過電圧の制限時には、被保護回路が瞬間的に高電圧にさらされます。このとき、TISP デバイスはブレイクダウン領域にあり、その後低電圧保護のオン状態になります。TBU は、この高電圧に起因する高電流に対して下流側回路を保護します。外に流れた電流が基準値を下回ると、TISP デバイスは自動的にリセットされ、通常システム動作を再開することができます。

前述したように、3つの部品はすべてシステム I/O と連携して一体的に機能し、高電圧/高電流の過渡現象に対してシステムを保護します。

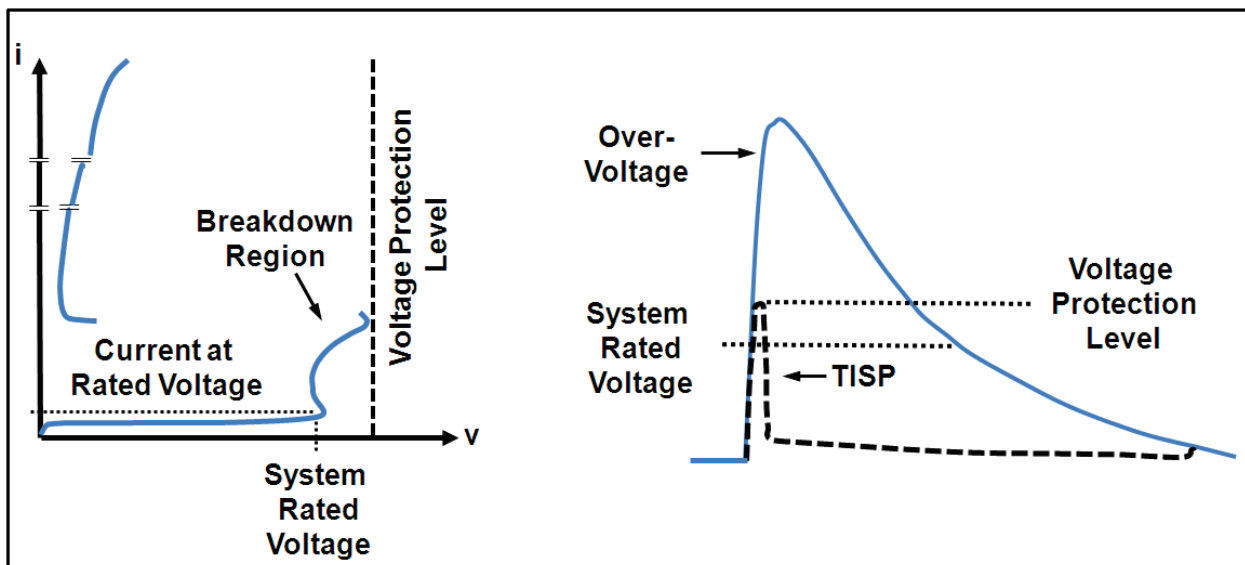


図 9. TISP スイッチング特性と電圧制限波形

保護方式 3

レベル 4 以上のサージ保護レベルが必要になることもよくあります。この保護方式では、最大 6 kV のサージ過渡電圧に対して RS-485 ポートを保護します。保護方式 2 と同じような動作ですが、この回路では TISP の代わりにガス放電管 (GDT) を使って TBU を保護し、TBU が二次保護デバイス TVS を保護します。GDT は、前述の保護方式に示した TISP より高い過電圧/過電流ストレスに対する保護機能を提供します。この保護方式で使用する GDT は、Bourns 社 2038-15-SM-RPLF です。TISP の定格が 1 導体当たり 220 アンペアであるのに対し、GDT の定格は 5 kA です。表 3 に、この設計で提供する保護レベルを示します。

表 3. ソリューション 3 の保護レベル

ESD (-4-2)		EFT (-4-4)		Surge (-4-5)	
Level	Voltage (contact/air)	Level	Voltage	Level	Voltage
4	8 kV/15 kV	4	2 kV	X	6 kV

主に一次保護デバイスとして使用される GDT は、グラウンドへの低インピーダンス・パスとなって過電圧過渡現象に対して保護します。過渡電圧が GDT スパークオーバ電圧に達すると、GDT は高インピーダンスのオフ状態からアーク・モードに移行します。アーク・モードの GDT は仮想短絡となり、グラウンドへのクローバ電流パスとなって被保護デバイスの外へ過渡電流を流しません。

図 10 に、GDT の代表的な特性を示します。GDT の電圧が増大すると、管内のガスが発生した電荷によってイオン化し始めます。これはグロー領域と呼ばれます。この領域において電流の増大によってアバランシェ効果が生じ、GDT が仮想短絡状態に遷移し、電流がデバイスを流れます。短絡イベント中、デバイス両端で生じた電圧はアーク電圧と呼ばれています。グロー領域とアーク領域間の遷移時間は、デバイスの物理特性に大きく依存します。

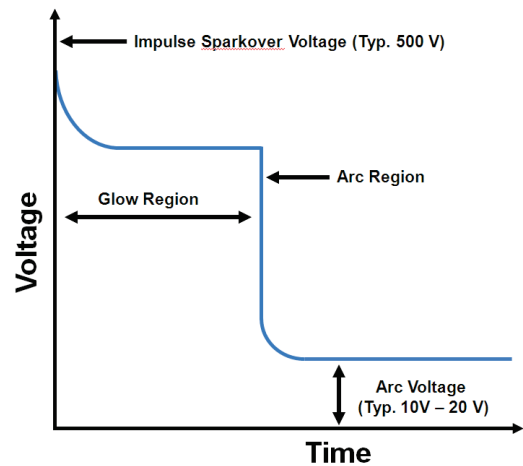


図 10. GDT の特性波形

結論

この記事では、過渡耐性に関する 3 つの IEC 規格について説明しました。産業用アプリケーションの実環境では、過渡現象が発生すると RS-485 通信ポートが損傷するおそれがあります。製品の設計サイクルが進んだ段階で EMC 問題を発見すると、設計のやり直しとなり、コストもかかり、スケジュール遅れとなることもよくあります。したがって、EMC 問題は設計サイクルの後の段階ではなく最初に検討しておく必要があります。対応が遅すぎると、必要な EMC 性能を実現できないおそれがあります。

RS-485 ネットワークの EMC 適合ソリューションを設計する場合、外部保護部品の動的性能を RS-485 デバイスの入出力構造の動的性能にマッチングさせることが大きな課題となります。

この記事では、RS-485 通信ポートのための 3 種類の EMC 適合ソリューションを紹介し、必要な保護レベルに応じたオプションを示しました。EVAL-CN0313-SDPZ は、業界初の EMC に適合した RS-485 の顧客向け設計ツールであり、ESD、EFT、サージに対して最高のレベル 4 の保護レベルを提供します。表 4 に、各保護方式で可能な保護レベルをまとめました。これらの設計ツールの機能は、当然行うべき注意義務やシステム・レベルでの必要な性能評価に代わるものではありませんが、設計サイクルの開始時点で EMC 問題によるプロジェクト遅延のリスクを小さくし、設計にかかる時間や市場投入までの期間を短縮することができます。詳細については、次のサイトをご覧ください。

www.analog.com/RS485emc

表 4. 3 つの ADM3485E EMC 適合ソリューション

Protection Scheme	ESD (-4-2)		EFT (-4-4)		Surge (-4-5)	
	Level	Voltage (contact/air)	Level	Voltage	Level	Voltage
TVS	4	8 kV/15 kV	4	2 kV	2	1 kV
TVS/TBU/TISP	4	8 kV/15 kV	4	2 kV	4	4 kV
TVS/TBU/GDT	4	8 kV/15 kV	4	2 kV	X	6 kV

参考文献

ADM3485E データシート

アナログ・デバイセズのインターフェース & アイソレータ :

<http://www.analog.com/en/interface-isolation/products/index.html>.

Bourns Telecom Protection Guide

www.bourns.com/data/global/pdfs/bourns_circuit_protection_selection_guide.pdf.

CDSOT23-SM712. www.bourns.com/pdfs/CDSOT23-SM712.pdf.

電磁両立性 (EMC) 第 4-2 部 : 試験および測定技術—静電放電耐性試験 (IEC61000-4-2:2008 (Ed. 2.0))

電磁両立性 (EMC) 第 4-4 部 : 試験および測定技術—電気的高速過渡現象/バースト耐性試験 (IEC61000-4-4:2012 (Ed. 3.0))

電磁両立性 (EMC) 第 4-5 部 : 試験および測定技術—サージ耐性試験 (IEC61000-4-5:2005 (Ed. 2.0))

EVAL-CN0313-SDPZ. www.analog.com/RS485emc.

GDT First Principles.

www.bourns.com/pdfs/bourns_gdt_white_paper.pdf.

Marais, Hein. Application Note AN-960 「RS-485/RS-422 回路の実装ガイド」、2008 年 4 月

TBU-CA065-200-WH.

www.bourns.com/data/global/pdfs/TBU-CA.pdf.

TISP4240M3BJR-S.

www.bourns.com/data/global/pdfs/TISP4xxxM3BJ.pdf.

2038-15-SM-RPLF.

www.bourns.com/data/global/pdfs/2038-xx-SM.pdf.